

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikka

2013

Ekman Karel

# MOOTTORILABORATORION TURVALLISUUSAUTOMATIIKAN SUUNNITTELU



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ekman Karel

# MOOTTORILABORATORION TURVALLISUUSAUTOMATIIKAN SUUNNITTELU

Työn tarkoituksena oli suunnitella Turun ammattikorkeakoulun uuteen moottorilaboratorioon turvallisuusautomaatiikka, joka ehkäisee henkilö- ja omaisuusvahinkojen syntymistä ajettaessa miehittämätöntä ajoa.

Ensin tutkittiin automaatiojärjestelmän vaatimukset ja automaatiikkaan liitettävät laitteet sekä järjestelmät. Tärkeimmiksi ominaisuuksiksi todettiin luotettavuus sekä asennuksen, käytön ja ylläpidon yksinkertaisuus. Tiedon ja ideoiden saamiseksi tehtiin yritysvierailuja muutamiin muihin laboratorioihin

Erilaisia järjestelmiä, kuten relekytkentää, automaatiota, PXI-1050-tiedonkeruujärjestelmää/LabView -ohjausohjelmaa ja mahdollista näiden yhdistelmää vertailtiin.

Lopuksi esiteltiin esimerkkilaite, Siemens Logo. Tämä laite valittiin pääosin yksinkertaisuutensa ja laajennettavuutensa vuoksi. Se on helppo ohjelmoida, joten ulkopuolista työvoimaa ei välttämättä tarvitse palkata ohjelmoimaan laitetta. Siemens Logo on myös kohtuullisen hintainen verrattuna muihin automaatiojärjestelmiin.

## ASIASANAT:

Moottorilaboratorio, Automaatio, Turvalogiikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering| Production Engineering

2013| 28

Instructor Mika Lauren

Karel Ekman

# DESIGNING OF SAFETY AUTOMATION SYSTEM FOR AN ENGINE LABORATORY

The objective of this thesis was to design a safety automation system to prevent injuries and damages while the engines are tested unstaffed.

At first requirements of the automation were taken into consideration, along with the objects to be monitored and connected to the system. The most important requirements for the system were reliability and simplicity for easy installation, adjustments and maintenance. Some other laboratories were visited in order to gain knowledge and ideas for the design.

A comparison was done between different systems, including relays, automation, PXI-1050–datalogger/LabView control program and the combination of all these options.

Finally, an example of an automation device, Siemens Logo, was presented. Siemens Logo was chosen mainly because of its simplicity and expandability. It can be programmed quite easily, meaning that there is no need to hire a professional to program the device. It's also very reasonably priced compared to other automation systems.

## KEYWORDS:

Engine Laboratory, Automation, Safety Logic

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 MOOTTORILABORATORIO</b>	<b>7</b>
<b>3 TURVAJÄRJESTELMÄ</b>	<b>9</b>
3.1 Turvajärjestelmän käyttötarkoitus	9
3.2 Viranomais määräykset	9
3.3 Muiden laboratorioiden järjestelmät	9
3.4 Järjestelmän vaatimukset	10
3.4.1 Valvottavat kohteet	10
3.4.2 Muut kytkettävät laitteet ja järjestelmät	13
<b>4 OHJAUSJÄRJESTELMÄ</b>	<b>16</b>
4.1 Mahdolliset ohjausjärjestelmät ja niiden ominaisuuksia	16
4.2 Ohjausjärjestelmän valinta	17
<b>5 LAITTEISTON VALINTA</b>	<b>19</b>
5.1 Turvallisuusjärjestelmän toiminnot	19
5.2 Turvajärjestelmän kytkennät	20
5.3 Laittevalinta	21
5.3.1 Keskusyksikkö	22
5.3.2 Tarvittavat laajennusmoduulit	22
5.3.3 Nykyiseen laitteistoon tarvittavat muutokset	23
<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>24</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>25</b>

## LIITTEET

Liite 1. Siemens LOGO! -tuotesarjan tekniset tiedot.

## KUVAT

Kuva 1. Yleiskuva moottorihuoneesta.	7
Kuva 2. Periaatekuva moottorihuoneiden sijoittelusta.	8
Kuva 3. Moottoriöljyn vuotokaukalo.	11
Kuva 4. PXI-1050-tiedonkeruulaitteisto.	13
Kuva 5. Nykyinen hätäseis-kytkentä.	14
Kuva 6. Siemens Logo! 12/24 RCE –keskusyksikkö (Siemens).	22
Kuva 7. 2x3-johtoinen PT100-anturi (Labfacility).	23

## KUVIOT

Kuvio 1. Turvallisuusautomaatiikan periaatekaavio.	18
--	----

## TAULUKOT

Taulukko 1. Turvajärjestelmän toiminnot.	19
Taulukko 2. Turvajärjestelmän vaatimat sisääntulokanavat.	20
Taulukko 3. Turvajärjestelmän vaatimat ulostulokanavat.	21

# 1 JOHDANTO

Turun ammattikorkeakoulun tiloissa toimii moottorilaboratorio, joka on sijoitettu kahteen eri rakennukseen. Tiloissa on yhteensä neljä moottoripaikkaa. Moottoritutkimusta tehdään pääosin tilaustoina asiakkaille. Asiakkaita ovat muun muassa moottorivalmistajat, polttoainevalmistajat ja tutkimuslaitokset.

Nyt Turun ammattikorkeakoululle on suunnitteilla täysin uusi moottorilaboratorio uusiin isompiin tiloihin. Laboratorioon on tulossa kuusi moottoripaikkaa. Samoihin tiloihin rakennetaan valvomotilat, tilat mittalaitteille ja taukotila. Suunnitelmissa on ajaa moottoreilla jatkossa myös miehittämätöntä testiajoa työajan ulkopuolella, esimerkiksi yöllä.

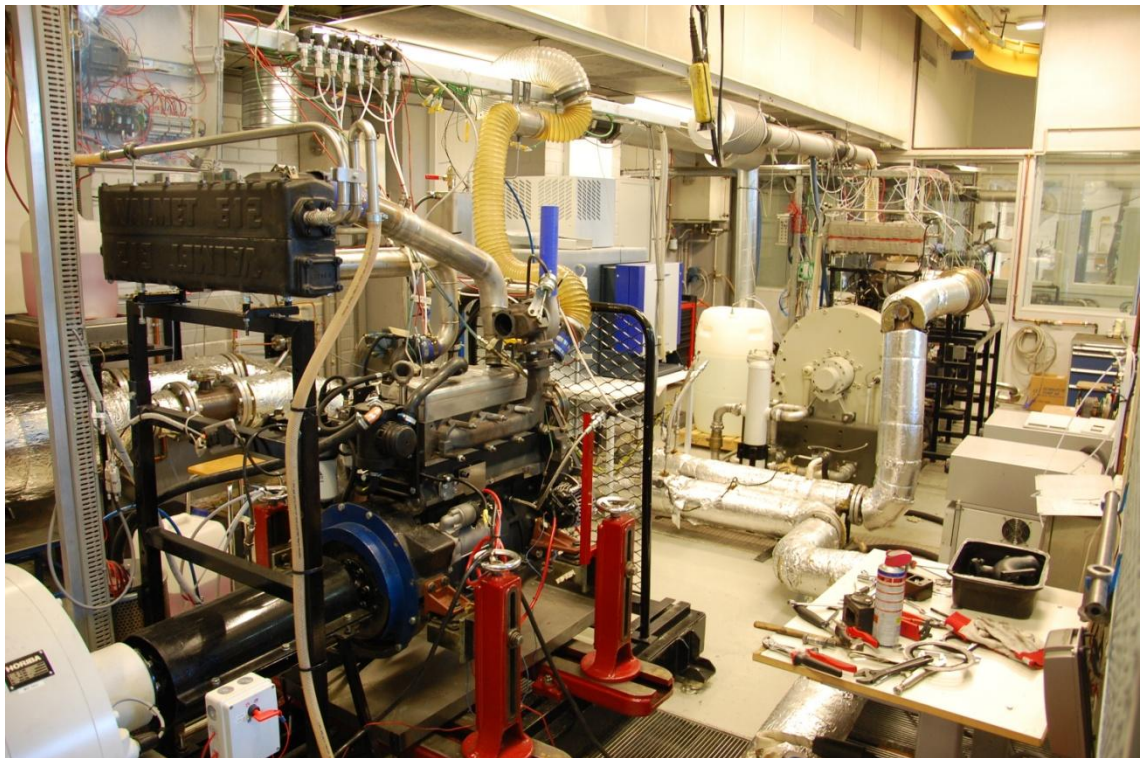
Tämän työn tarkoituksena on selvittää, millainen turvallisuusautomaatiikka moottorihuoneisiin tarvitaan, jotta mahdolliset viranomais määräykset täyttyisivät eikä ihmisille tai omaisuudelle aiheutuisi vaaraa. Järjestelmää suunnitellessa täytyy ottaa huomioon myös järjestelmän luotettavuus, käyttömukavuus, vianetsinnän helppous ja huollettavuus.

Moottorilaboratoriossa on lähes aina opiskelijoita töissä opiskelija-assistentteina. Tiloissa liikkuvilta opiskelijoilta ei voida odottaa samanlaista tietämystä ja ymmärrystä mahdollisista vaaroista kuin alan ammattilaisilta. Tämä aiheuttaa oman haasteensa järjestelmän suunnittelulle.

## 2 MOOTTORILABORATORIO

Moottorilaboratoriossa tutkitaan esimerkiksi pääasiassa moottorin osien, lisäaineiden ja moottorin säätöjen vaikutusta moottorin polttoaineenkulutukseen, suorituskykyyn ja päästöihin. Moottorilaboratoriossa tutkittavat moottorit ovat yleisimmin työkoneisiin tarkoitettuja dieselmoottoreita, teholtaan 50 kW-500 kW. Muitakaan moottorivaihtoehtoja ei ole täysin pois suljettu.

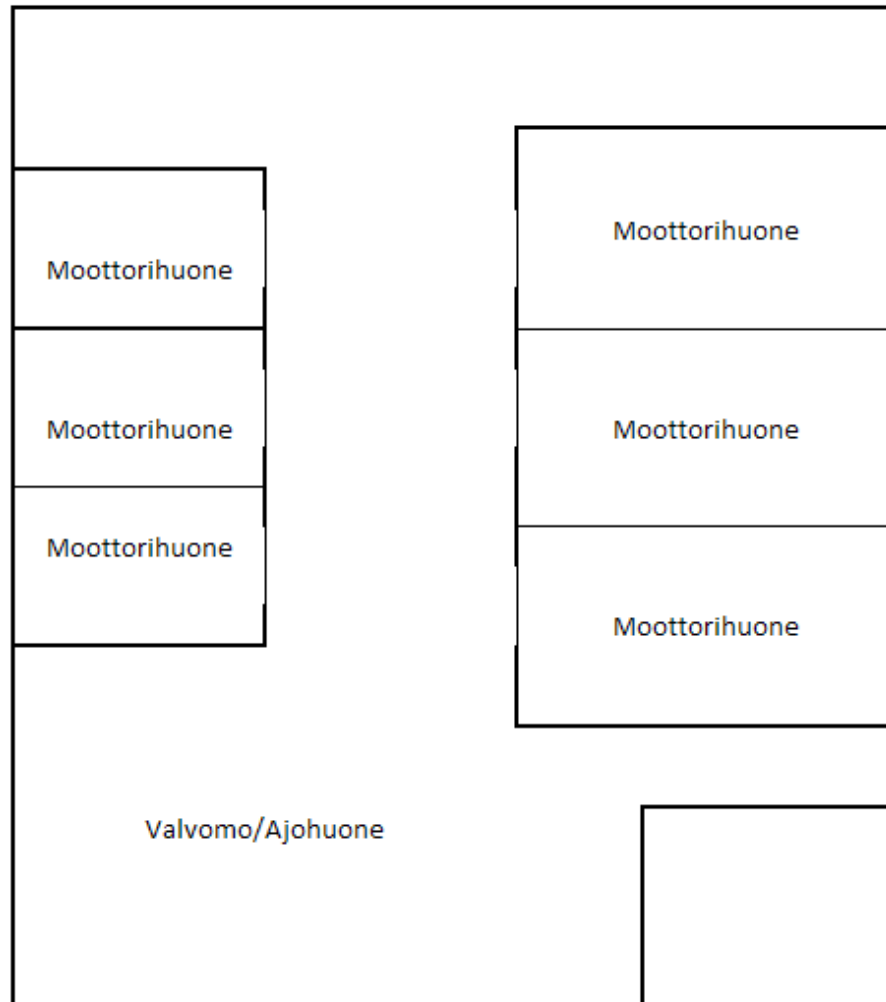
Nykyiset tilat ovat kahdessa eri paikassa, joista toisessa on kolme moottoripaikkaa ja toisessa yksi. Laboratoriotilat on muokattu vanhoista tiloista vaiheittain, minkä takia tilat ovat ahtaita ja esimerkiksi vesiputkien ja sähköjohtojen sijoittelu ei ole aina tilankäytöllisesti järkevää (Kuva 1).



Kuva 1. Yleiskuva moottorihuoneesta.

Uusi laboratorio sijaitsee vanhan tavoin koulurakennuksessa, joten mahdollisten vaaratilanteiden minimointi on tärkeää. Uusi tila varustetaan alusta alkaen moottoritutkimuksen tarpeita vastaavaksi.

Tilaan on suunnitteilla kolme moottorihuonetta, joissa on yhteensä kuusi moottoripaikkaa. Moottorihuoneisiin kuljetaan yhteisen valvomotilan kautta. (Kuva 2.)



Kuva 2. Periaatekuva moottorihuoneiden sijoittelusta.

Tilankäytön tehostamiseksi suurin osa mittalaitteista on tarkoitus sijoittaa moottorihuoneiden yläpuoliseen tilaan. Uudet tilat mahdollistavat myös moottorihuoneissa tarvittavien putkistojen ja sähköjohdotusten järkevämmän sijoittelun.



## 3 TURVAJÄRJESTELMÄ

### 3.1 Turvajärjestelmän käyttötarkoitus

Nykyisessä moottorilaboratoriossa moottoreita käytetään vain työntekijöiden valvonnassa. Uudessa moottorilaboratoriossa on tarkoitus ajaa myös miehittämätöntä ajoa. Miehittämättömässä ajossa automatiikka on ainoana valvomassa, mitä laboratoriossa tapahtuu. Moottorihuoneissa täytyy olla järjestelmä, joka pysäyttää moottorin, dynamometrin ja polttoaineen virtauksen vikatapauksessa, jotta vältetään lisävahingoilta. Riskinä on moottorin tai pahimmissa tapauksessa koko laboratorion tuhoutuminen ja ihmisten turvallisuuden vaarantuminen. Siksi on hyvin tärkeää, että järjestelmä on luotettava ja varmatoiminen.

### 3.2 Viranomaismääräykset

Työn toimeksiantoon sisältyi mahdollisten viranomaismääräysten selvittäminen. Moottorilaboratoriota vastaavaa kohdetta ei tässä tutkimuksessa löydetty rakentamismääräyskokoelmista, eikä lakiteksteistä. Tästä johtuen moottorilaboratorion turvajärjestelmän suunnitteluun ei aiheutunut rajoituksia viranomaismääräyksistä.

### 3.3 Muiden laboratorioiden järjestelmät

Kotimaassa kolmeen alan yritykseen tehtyjen yritysvierailujen perusteella muiden toimijoiden turvajärjestelmien toteutus on hyvin vaihtelevaa. Turvajärjestelmät näissä kohteissa vaihtelivat yksinkertaisista relekytkennöistä valoverhoihin ja sammutusjärjestelmiin. Kaikkia laitteita yhdistävää kattavaa turvajärjestelmää ei ollut yhdessäkään kohteistamme. Vierailujen aikana esitellyt turvajärjestelmät ovat luottamuksellisia, joten niiden tarkempi kuvaus ei ole tässä mahdollista.

Huomioitavaa on toki se, että kaikissa vierailuissa kohteissa moottorilaboratorio sijaitsi varta vasten teolliseen käyttöön tehdyssä rakennuksessa, jossa esimerkiksi tulipalon leviäminen pystytään rajaamaan helpommin kuin koulurakennuksessa.

### 3.4 Järjestelmän vaatimukset

Tavoitteena on integroida turvajärjestelmä mahdollisimman saumattomasti olemassa oleviin järjestelmiin ja tilaan asennettaviin kaasuntunnistus- ja palontorjuntalaitteistoihin, jotta kokonaisuus pysyy yksinkertaisena ja helppona huoltaa. Olemassa olevien mittauskanavien käyttö on suositeltavaa, koska tällöin anturien ja johdotusten määrä moottorissa ei olennaisesti muutu. Tämä helpottaa moottorien huoltamista ja vaihtamista. Järjestelmän on oltava myös riittävän luotettava.

#### 3.4.1 Valvottavat kohteet

Turvajärjestelmän valvottavat kohteet valittiin vian todennäköisyyden, seurausten ja mittausmahdollisuuksien perusteella. Seuraavaksi tarkastellaan moottorilaboratoriossa tapahtuvia mahdollisia erilaisia vikatilanteita.

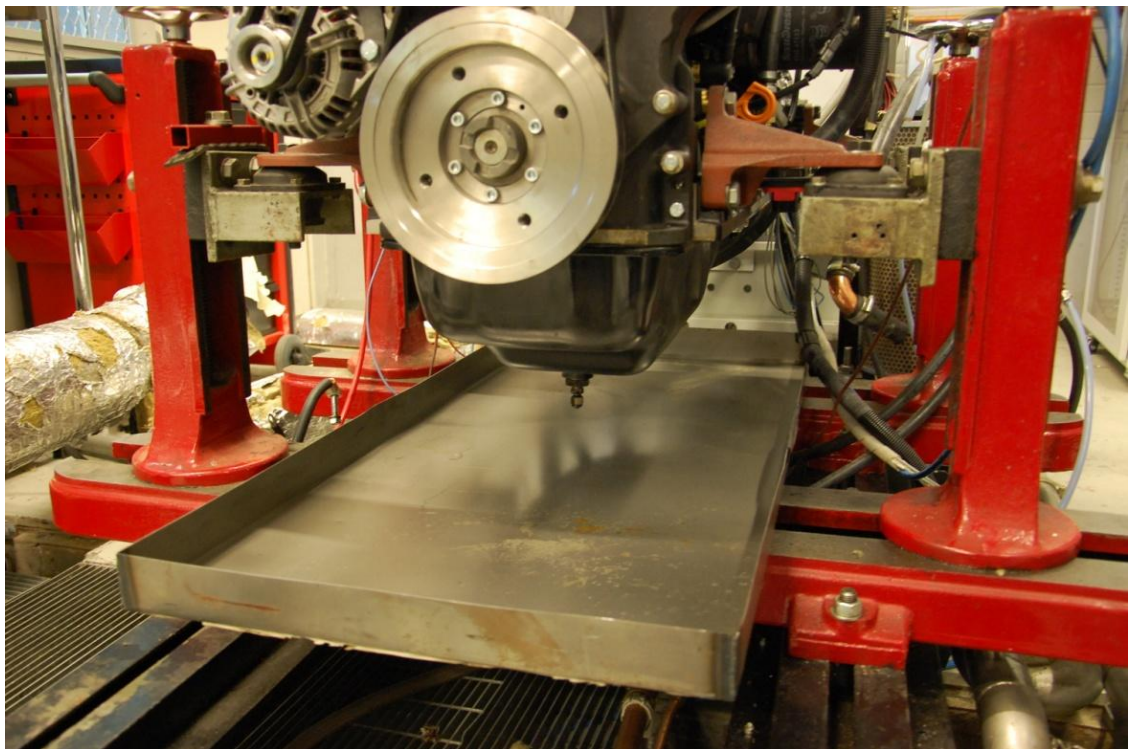
Moottoriöljyn paineen putoaminen voi aiheutua esimerkiksi öljypumpun rikkoutumisesta, laakerivauriosta, sylinterikannen tiivisteen rikkoutumisesta tai öljyvuodosta. Paineanturi ja sammutusraja ovat riittävä suojaus.

Moottoriöljyn lämpötilan kohoaminen voi aiheutua muun muassa moottorin liiallisesta kuormituksesta tai riittämättömästä jäähdytyksestä. Suojaukseksi riittää lämpöanturi ja sammutusraja.

Jäähdytysnesteen lämpötilan kohoaminen voi aiheutua esimerkiksi jäähdytysveden kierron ongelmista tai moottorin liiallisesta kuormituksesta. Yksinkertaisuuden takia on järkevintä sammuttaa moottori lämpötilan kohotessa liian korkeaksi.

Moottorin mekaanisten vikojen, kuten esimerkiksi venttiili- tai laakerivikojen, suora tunnistaminen on käytännössä mahdotonta järkevällä panostuksella. Useimmiten mekaaniset viat aiheuttavat kuitenkin muutoksia muissa mitattavissa kohteissa, joten turvajärjestelmän kytkeytyminen tapahtuu niiden perusteella.

Moottorin öljyvuodon tunnistaminen on hyvin hankalaa, koska öljy kiertää koko ajan moottorissa. Moottorit myös kuluttavat aina jonkin verran öljyä, joten öljyn määrä väheneminen on luonnollista moottorin toimiessa oikein. Pienien öljyvuotojen tunnistaminen on lähes mahdotonta. Suurempia vuotoja varten öljypohjaan voisi asentaa anturin öljyntason minimikorkeudelle. Tämä aiheuttaisi paljon lisätyötä moottorin vaihdoissa, koska jokaisen moottorin öljypohjaan pitäisi erikseen tehdä paikka anturille. Moottorin alla olevaan öljykaukaloon voisi asentaa tunnistimen, mutta moottoreita huollettaessa kaukaloon valuu usein öljyä (Kuva 3.).



Kuva 3. Moottoriöljyn vuotokaukalo.

Vuotokaukalossa oleva öljy aiheuttaisi siten turhia hälytyksiä. Realistisin vaihtoehto on moottorin pysäytys vasta sitten, kun öljynpaine putoaa öljyvuodon seurauksena.

Moottorin voimansiirron vioittumisen tunnistaminen on tarpeellista. Moottori liitetään dynamometriin kumikytkimen ja kardaniakselin avulla. Kytkimen tai kardaniakselin rikkoutumisen voi tunnistaa vertaamalla moottorin ja dynamometrin kierroslukuja. Ratkaisuksi kävisi siis ohjelmaan asetettava raja-arvo moottorin ja dynamometrin pyörintänopeuksien erolle. Dynamometreissä on valmiina pyörintänopeusanturi, mutta vanhanaikaisiin moottoreihin sellainen pitäisi erikseen asentaa. Nykyaikaisissa sähköisesti ohjatuissa moottoreissa pyörintänopeustiedon saa moottorinohjaukselta CAN – väylän kautta. Nämä moottorit tuliaan kytkemään turvajärjestelmän piiriin.

Pienten polttoainevuotojen tunnistaminen on lähes mahdotonta. Isommat vuodot voisi tunnistaa esimerkiksi seuraamalla polttoaineen kulutusta virtausmittarilla ja vertaamalla kulutusta moottorin laskennalliseen kulutukseen. Jos ero muuttuu liian suureksi, moottori pysäytetään ja polttoaineen virtaus katkaistaan magneettiventtiilillä. Tällainen tunnistus vaatii kuitenkin mittalaitteistolta ja laskennalta niin suurta tarkkuutta, että se on vaikeaa toteuttaa luotettavasti, joten sitä ei toteuteta tässä vaiheessa.

Ahtopainevuodon syynä on yleensä repeytynyt tai irronnut ahtopaineletku tai -putki. Ahtopaineen mittaaminen on itsessään helppoa, mutta ”väärän” ahtopaineen tunnistaminen on hyvin haasteellista. Ahtopaineletkun hajoaminen vaikuttaa muihin mitattaviin arvoihin, joten omaa tunnistusta ei välttämättä tarvita.

Moottoritilassa liikkuminen moottorien käydessä voi aiheuttaa vaaratilanteen. Liikkeen tunnistavaa valoverhoa käytetään yleisesti teollisuudessa rajaamaan kone ympäröivästä tilasta. Koeajohuoneet ovat kuitenkin tässä tapauksessa melko pieniä ja täysin suljettuja, joten on yksinkertaisempaa estää huoneeseen pääsy ulkopuolisilta moottoreiden ollessa käynnissä.

Vikatilanne, esimerkiksi moottorivaurio, saattaa aiheuttaa tulipalon moottoritilassa. Taloautomaatioon liitetyt tunnistimet tunnistavat tulipalon ja lähettävät signaalin sammutusjärjestelmälle ja turvajärjestelmälle. Turvajärjestelmä sammuttaa tilassa olevat moottorit.

### 3.4.2 Muut kytkettävät laitteet ja järjestelmät

National Instruments PXI-1050 on tiedonkeruu- ja ohjaustietokone, joka kerää mitattavaa tietoa ja myös ohjaa moottorin ja dynamometrin toimintaa (Kuva 4). PXI vastaanottaa kaikki moottorista antureilla mitatut tiedot. Mitattavia suureita ovat esimerkiksi moottoriöljyn lämpötila, moottorin ahtopaine ja jäähdytysnesteen lämpötila. PXI myös lähettää moottorille ja dynamometrille ohjaustiedot. Laitteella ohjataan yleisimmin moottorin kierroslukua, dynamometrin aiheuttamaa kuormitusta, moottorin käynnistystä ja sammutusta.

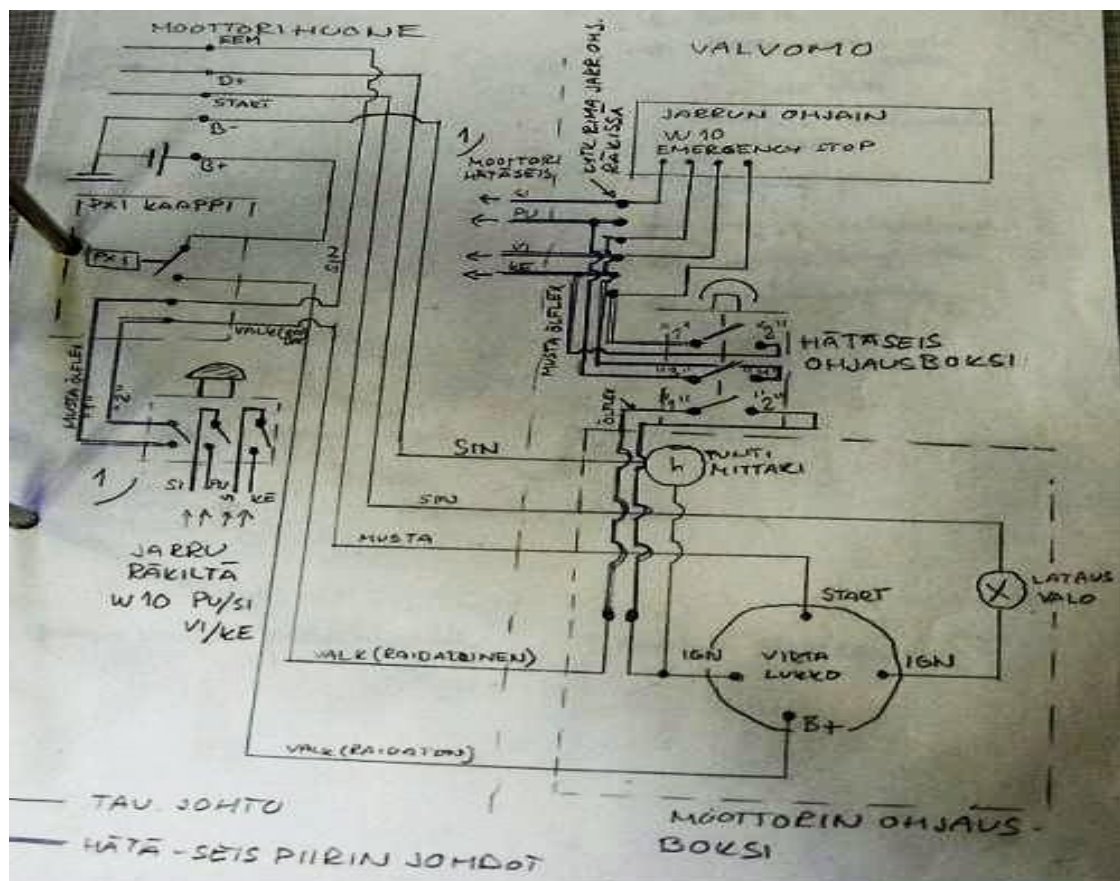


Kuva 4. PXI-1050-tiedonkeruulaitteisto.

PXI:n käyttöliittymänä toimii erillisellä tietokoneella oleva LabVIEW-ohjelmisto. LabVIEW-ohjelmistossa on työkalut moottorin ja dynamometrin ohjaamiseen, moottorin tilan valvomiseen ja mitatun tiedon muokkaamiseen.

Tiedonkeruujärjestelmän liittäminen turvallisuusautomaatioon on järkevää, jotta antureiden määrää ja johdotusta ei tarvitse lisätä enempää kuin on tarpeellista. LabVIEW-ohjelmistoon on myös ohjelmoitu turvarajat tietyille mitattaville suureille, joiden perusteella ohjelmisto säättää moottorin kuormitusta tai sammuttaa sen. Näin ollen kaikkea valvontaa ei tarvitse suorittaa turvajärjestelmällä.

Nykyisessä moottorilaboratoriossa on käytössä hätäseis-järjestelmä. Nykyinen järjestelmä on toteutettu releohjauksella. Järjestelmän kytkentä on hyvin monimutkainen, josta saattaa aiheutua luotettavuusongelmia (Kuva 5.).



Kuva 5. Nykyinen hätäseis-kytkentä.

Uuden turvajärjestelmän on tarkoitus sammuttaa tilassa olevat moottorit ja dynamometrit hätätapauksessa. Häätäseis-järjestelmän yksinkertaistamiseksi on järkevää liittää häätäseis-kytkimet uuteen turvajärjestelmään. Näin ei tarvita muita kytkentöjä kuin johdotukset kytkimiltä turvajärjestelmälle, joka katkaisee sähkövirrat.

Uuteen moottorilaboratoriotilaan on tulossa uusi taloautomaatiojärjestelmä. Järjestelmään on suunnitteilla CO<sup>2</sup>-, CO-, NO<sub>x</sub>- ja lämpötilatunnistimet. Taloautomaatio valvoo myös muun muassa ilmanvaihdon toimintaa ja ohjaa mahdollista palonsammutusjärjestelmää. Taloautomaatiolta saadaan signaali joka kertoo turvallisuusjärjestelmälle mahdollisista vioista. Kun taloautomaatio lähettää viasisignaalin, moottorit ja dynamometrit sammutetaan.

Oppilaitos on vastuussa tiloissaan liikkuvien ihmisten turvallisuudesta. Ulkopuolisten pääsy käynnissä olevien moottorien lähelle pitää siis estää. Aikaisemmin on todettu, että valoverhon käyttö kulunvalvontaan ei ole tarpeellista. Moottorihuoneet on eristetty seinillä muista tiloista. Yksinkertaisin ja varmin tapa olisi lisätä moottorihuoneiden oviin sähkölukot, jotka aukeavat vain työntekijöiden avainkortilla. Tällä varmistetaan, että tilaan ei pääse ulkopuolisia.

Vaihtoehtoisesti moottorihuoneiden oviin voisi asentaa yksinkertaiset ovikytkimet, jotka pysäyttävät tilassa olevat moottorit oven auetessa. Tämä ratkaisu on ongelmallinen, koska työntekijöiden täytyy päästä huoltamaan moottoreita myös toisten samassa tilassa olevien moottoreiden ollessa käynnissä. Järjestelmään voisi liittää kytkimen, jolla ovikytkimet ohitetaan. Riskinä on, että ohitus unohtuu vahingossa päälle.

## 4 OHJAUSJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Mahdolliset ohjausjärjestelmät ja niiden ominaisuuksia

Releohjaus on helppo ratkaisu yksinkertaisiin käyttötarkoituksiin ja sitä pidetään yleisesti toimintavarmana. Releohjauksen laajentaminen on periaatteessa helppoa koska se ei vaadi monimutkaista ohjelmointia, vain tarvittavan määrän releitä ja johdotusta. Releohjaus on hankintahinnaltaan selkeästi edullisin vaihtoehto pienimuotoiseen valvontaan. (Rockwell Automation 2002.)

Huono puoli releohjauksessa on luonnollisesti sen ON/OFF-tyyppinen toiminta. Releohjauksella ei siis pysty tekemään joustavaa ohjausta. Releohjauksen parhaat ominaisuudet, hinta ja yksinkertaisuus, menetetään kun järjestelmästä tulee laaja. Tässä tapauksessa releohjaus ei siis sovellu ainoaksi ohjausjärjestelmäksi valvottavien kohteiden suuren määrän takia. Useiden kohteiden liittäminen järjestelmään tekee kytkennästä monimutkaisen ja vaikeaselkoisen. Lisäksi mahdollisten vikojen paikantaminen lukuisten releiden ja johtoliitosten joukosta olisi haastavaa. Releiden käyttäminen muun järjestelmän apuna on sen sijaan suositeltavaa.

Monipuolisen ohjelmoitavan logiikan selkeästi paras puoli on sen muunneltavuus ja säädettävyys (Rockwell Automation 2002.). Ohjelmaan voi syöttää esimerkiksi varoitusarvot ja katkaisuarvot erikseen, joten miehitetyn ajon aikana mahdolliset ongelmat voidaan tutkia ennen kuin logiikka sammuttaa moottorin. Logiikkaan voi halutessaan tehdä myös eri ohjelman miehittämättömälle ajolle, hieman tiukemmilla raja-arvoilla.

Tietokoneen kautta käytettävän logiikan huonoihin puoliin lukeutuu luonnollisesti tietokoneiden epäluotettavuus ja siitä seuraavat luotettavuusongelmat. Pelkän logiikan käyttäminen valvontaan vaatii suuren määrän uusia antureita ja johdotuksia, jotka hankaloittavat moottorien vaihtoa ja huoltotöitä. Monimutkaisempien ohjelmien teko saattaa vaatia ulkopuolista apua.



PXI-1050/LabVIEW on monipuolinen ja muunneltava tiedonkeruu- ja ohjausjärjestelmä. Tällä hetkellä järjestelmä sammuttaa moottorin muutamissa tilanteissa, kuten öljynpaineen pudotessa raja-arvon alapuolelle tai jäähdytysnesteen lämpötilan noustessa liian suureksi. Koska lähes kaikki tiedot tulevat nykyiselläänkin tiedonkeruujärjestelmään, olisi helppoa lisätä raja-arvot kullekin parametrille moottorin sammuttamiseksi. Tämänkin vaihtoehdon suurin ongelma on luotettavuuden puute. Järjestelmä ei ole kokemusten perusteella yksinään riittävän vakaa ja luotettava valvomaan miehittämätöntä ajoa.

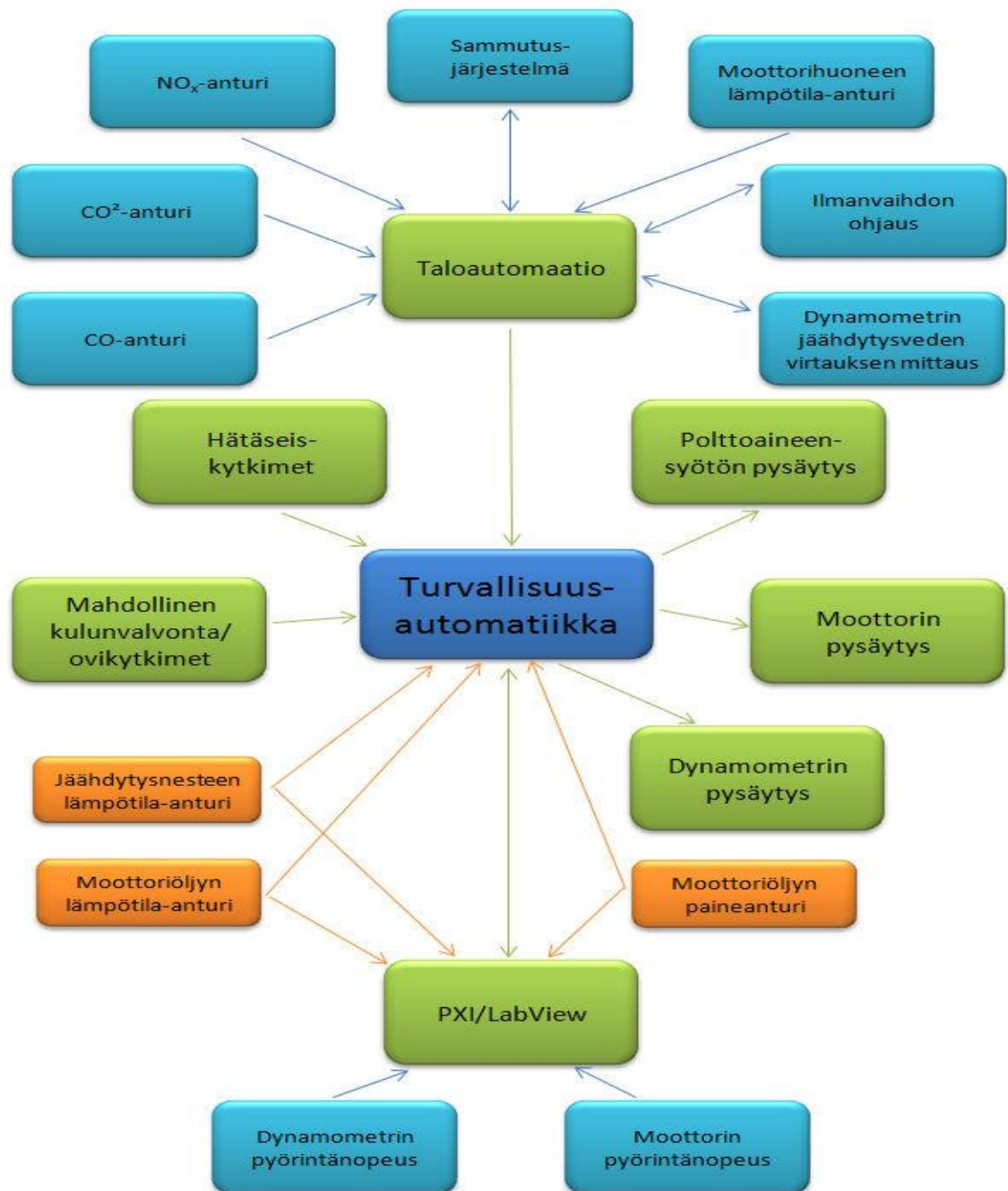
Ohjelmoitavaa logiikkaa voidaan myös käyttää kokoamaan olemassa olevien ja tilaan suunnitteilla olevien järjestelmien antamia tietoja. Tällä tavoin järjestelmästä saadaan yksinkertainen, helppokäyttöinen ja luotettava. Samalla saadaan kokonaisuus pysymään selkeänä.

#### 4.2 Ohjausjärjestelmän valinta

Valinta kohdistui ohjelmoitavaan logiikkaan, jota käytetään pääosin yhdistämään olemassa olevat järjestelmät ja niiden antamat tiedot. Tämä ohjaustapa valittiin, koska yksinkertaisuus ja luotettavuus ovat kohteessamme turvajärjestelmän tärkeimmät ominaisuudet ja tilaa on rajallisesti.

Logiikka mittaa suoraan ainoastaan olennaisimmiksi katsotut tiedot. Muut tiedot kerätään ja käsitellään taloautomaation ja tiedonkeruujärjestelmän toimesta. Ne lähettävät logiikalle signaalin vikatapauksessa. Kun joku laitteista ilmoittaa viasta, logiikka sammuttaa moottorin ja dynamometrin sekä pysäyttää polttoaineen virtauksen. Taloautomaatio valvoo ilmanvaihdon toimintaa, dynamometrin jäähdytysveden virtausta, moottorihuoneiden lämpötilaa ja kaasupitoisuuksia. Näiden lisäksi se myös mahdollisesti ohjaa suunnitteilla olevaa palonsammutusjärjestelmää. PXI-1050/LabVIEW valvoo moottoriöljyn painetta, öljyn ja jäähdytysnesteen lämpötilaa sekä dynamometrin ja moottorin pyörintänopeutta.

Logiikkaan liitetään hätäseis-kytkimet ja mahdolliset ovikytkimet. Lisäksi logiikka valvoo moottoriöljyn painetta, öljyn ja jäähdytysnesteen lämpötilaa. Edellä mainitut suureet ovat olennaisia tietoja mahdollisten ongelmien havaitsemisessa. Tästä syystä tiedot näiltä antureilta on kahdennettu. Ensisijaisesti PXI välittää mittausten perusteella katkaisutiedon logiikalle (Kuvio 1.). Mikäli näin ei tapahdu, saa logiikka joka tapauksessa tiedon antureilta ja toimii sen mukaan.



Kuvio 1. Turvallisuusautomaatiikan periaatekaavio.

## 5 LAITTEISTON VALINTA

### 5.1 Turvallisuusjärjestelmän toiminnot

Yksinkertaisuuden ja turvallisuuden vuoksi päätettiin että turvajärjestelmä pysäyttää moottorin, dynamometrin ja polttoaineensyötön aina vian ilmetessä (Taulukko 1.). Moottorin kuormituksen tai käyntinopeuden säätöä vikatapauksessa ei katsottu järkeväksi, koska niiden säätäminen saattaa muuttaa työn alla olevan testin tuloksia. Useiden erilaisten toimintatapojen ohjelmointi erikseen jokaiselle mittauskanavalle tekisi ohjelmoinnista vaativaa varsinkin kokoonpanoa muutettaessa.

Taulukko 1. Turvajärjestelmän toiminnot.

Tapahtuma	Seuraus
Moottori käynnistetään.	Ohjelma kytketään päälle muutaman sekunnin viiveellä "START"-signaalista. Merkkivalo syttyy.
Moottori sammutetaan hallitusti.	Ohjelma kytketty pois päältä kun "IGN"-signaali katkeaa. Merkkivalo sammuu.
Hätäseis-kytkintä painetaan ajon aikana.	Kyseessä oleva moottori ja dynamometri pysäytetään ja polttoaineen syöttö katkaistaan. Uudelleen käynnistys estetään.
Moottorihuoneen ovi aukeaa ajon aikana.	Kaikki samassa tilassa olevat moottorit ja dynamometrit pysäytetään ja polttoaineen syötöt katkaistaan (jos ohitus ei käytössä).
Taloautomaatio ilmoittaa viasta.	Kaikki moottorit ja dynamometrit pysäytetään ja polttoaineen syötöt katkaistaan.
PXI ilmoittaa viasta.	Kyseessä oleva moottori ja dynamometri pysäytetään ja polttoaineen syöttö katkaistaan.
Moottoriöljyn lämpötila ylittää raja-arvon.	Kyseessä oleva moottori ja dynamometri pysäytetään ja polttoaineen syöttö katkaistaan.
Jäähdytysnesteen lämpötila ylittää raja-arvon.	Kyseessä oleva moottori ja dynamometri pysäytetään ja polttoaineen syöttö katkaistaan.
Moottoriöljyn paine alittaa raja-arvon (ei startatessa).	Kyseessä oleva moottori ja dynamometri pysäytetään ja polttoaineen syöttö katkaistaan.

## 5.2 Turvajärjestelmän kytkennät

Valittavassa logiikassa pitää olla ainakin 8 digitaalista sisääntuloa, tulot kahdelle PT100-anturille sekä yksi 4-20 mA tulo (Taulukko 2.). Releulostuloja tarvitaan vähintään viisi (Taulukko 3.). Näiden lisäksi digitaalisia tuloja ja lähtöjä kannattaa varata muutama ylimääräinen, jotta pieniä muutoksia pystyy tekemään ilman laitteiston laajentamista. Taloautomaation signaali ei ole vielä tiedossa, mutta sille varataan yksi digitaalinen sisääntulo. Signaali muunnetaan tarvittaessa sopivaan muotoon.

Taulukko 2. Turvajärjestelmän vaatimat sisääntulokanavat.

Tulot			
Tunniste	Tyyppi	Kytkevä laite	Huomioitavaa
1	0-24VDC	PXI-1050	Saadaan ohjelmoitua tarvittaessa muukin lähtö PXI-1050:lta
2	?	Taloautomaatio	Signaali ei vielä tiedossa, muutetaan mahdollisesti 0-24VDC
3	0-24VDC	Hätäseis	
4	0-24VDC	Ovikytkimet	
5	0-24VDC	"IGN"	"Sytytysvirran" tunnistus, jotta ohjelma kytkeytyy pois päältä sammutettaessa normaalisti
6	0-24VDC	"Start"	Käynnistysvirran tunnistus käynnistysviivettä varten
7	0-24VDC	Virheen kuittaus	Reset -nappi, jos ohjelmallisesti mahdollista
8	4-20mA	Moottoriöljyn paine	
9	RTD	Moottoriöljyn lämpötila	PT100
10	RTD	Jäähdytysnesteen lämpö	PT100
11	0-24VDC	Dynamometrin ohjaimen virta	

Taulukko 3. Turvajärjestelmän vaatimat ulostulokanavat.

Lähdöt			
Tunniste	Tyyppi	Kytkevä laite	Huomioitavaa
1	5A rele	Polttoaineensyötön magneettiventtiilin ohjaus	
2	5A rele	Moottorin päävirran ohjaus	
3	5A rele	Dynamometrin ohjaimen virta	
4	5A rele	Dynamometrin ohjaimen virta	
5	5A rele	Merkkivalo "Ohjelma päällä"	Jotta kukaan ei ajatuksissaan avaa moottorihuoneen ovea.

### 5.3 Laitevalinta

Laitevalinta kohdistui Siemens Logo –pienlogiikkatuotesarjaan. Tuotesarjaan päädyttiin Turun Teollisuustukku OY:n suosituksesta. Logo on tarkoitettu pienimuotoisiin automatisointeihin ja releiden korvaajaksi, muun muassa taloautomaatioon (Siemens. Logo!-laitteen tiedot). Logo on helppo ohjelmoida, joka on tässä tapauksessa suuri etu, koska ulkopuolista työvoimaa ei välttämättä tarvita ohjelmoimaan laitetta. Logo on myös huomattavan edullinen verrattuna muihin ohjelmoitaviin logiikoihin. (Turun Teollisuustukku OY, 2013.)

Yhdellä keskusyksiköllä ja riittävällä määrällä laajennusmoduuleja pystyy periaatteessa ohjaamaan kaikkia moottoripaikkoja, mutta silloin mahdollinen laiteviika saattaa estää kaikkien moottoreiden käytön. Liian monen laitteen liittäminen yhteen johtaisi myös tarpeettoman pitkiin johdotuksiin ja hankaloittaisi vianetsintää. Järjestelmä saadaan pidettyä yksinkertaisimpana sijoittamalla yksi laite yhteen moottoripaikkaan.

### 5.3.1 Keskusyksikkö

Keskusyksiköksi valittiin LOGO! 12/24 RCE (Kuva 6.). Kyseinen malli toimii 12/24 voltin tasavirralla. Keskusyksikössä on oma näyttö ja Ethernet-yhteys, jolla voi yhdistää 8 keskusyksikköä. Ethernet-yhteydellä varustettu malli katsottiin järkeväksi mahdollisten tulevien laajennusten takia, vaikka se ei nykytilanteessa olekaan välttämätön. Laitteessa on itsessään 8 digitaalista sisääntuloa ja 4 relelähtöä. Sisääntuloista neljää voidaan käyttää tarvittaessa myös analogisena 0-10V tulona.



Kuva 6. Siemens Logo! 12/24 RCE –keskusyksikkö (Siemens).

### 5.3.2 Tarvittavat laajennusmoduulit

Keskusyksikön lisäksi tarvitaan kolme laajennusmoduulia. Logo! AM2 RTD -laajennusmoduulissa on kaksi sisääntuloa PT100/PT1000-lämpöantureille. Moduuliin kytketään jäähdytysnesteen ja moottoriöljyn lämpöanturit. Logo! AM2 -laajennusmoduulissa on kaksi analogista sisääntuloa 4-20mA. Moduuliin kytketään moottoriöljyn paineanturi. Toinen kanava jää vapaaksi. Logo! DM8 12/24R laajennusmoduulissa on neljä digitaalista sisääntuloa ja neljä relelähtöä. Moduuliin kytketään yksi tarvittavista relelähdoistä. Muut kanavat jäävät vapaaksi tulevaisuuden laajennustarpeita varten.

### 5.3.3 Nykyiseen laitteistoon tarvittavat muutokset

Tällä hetkellä moottoriöljyn ja jäähdytysnesteen lämpötilan mittaamiseen käytetään PT100-lämpöantureita. Lämpöantureiden signaali pitää saada muuttumattomana sekä tiedonkeruulle, että turvalogiikalle. Koska PT100-lämpöantureiden signaalia ei voi jakaa, pitää lämpöanturit vaihtaa kahdella lähdöllä varustettuihin malleihin (Kuva 7.).



Kuva 7. 2x3-johtoinen PT100-anturi (Labfacility).

Öljynpaineanturin lähettämä 4-20 mA -signaali voidaan jakaa erillisellä lähettimellä kahteen eri kohteeseen. Tällainen lähetin löytyy esimerkiksi Nokevalin valikoimasta.

## 6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella Turun ammattikorkeakoulun tulevaan moottorilaboratorioon turvallisuusautomaatiikka, joka mahdollistaisi miehittämättömän ajon.

Työssä tutkittiin mahdollisia aiheita koskevia viranomais määräyksiä, joita ei kuitenkaan löytynyt. Yritysvierailuilla saatiin hyviä vinkkejä turvajärjestelmien toteutukseen. Muiden yritysten järjestelmät eivät kuitenkaan olleet sellaisenaan tarkoituksenmukaisia kohteeseen.

Automaatiikan tärkeimmiksi vaatimuksiksi päätettiin jo alkuvaiheessa yksinkertaisuus, huollon helppous ja luotettavuus. Tästä syystä päätettiin käyttää yhtä laitetta kokoamaan jo olemassa olevien laitteiden tiedot yhteen. Järjestelmään lisättävien kohteiden määrä haluttiin pitää mahdollisimman pienenä. Yksinkertaisuutta silmällä pitäen päätettiin myös, että automaatiikka sammuttaa moottorin ja dynamometrin aina vian ilmetessä, riippumatta vian luonteesta. Luotettavuuspuutteiden takia nykyistä tiedonkeruu- ja ohjausjärjestelmää ei haluttu ohjaamaan turvallisuusautomaatiikkaa.

Laitevalinnassa päädyttiin Siemens LOGO -pienlogiikkasarjaan, koska se on yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Sitä pystyy myös laajentamaan helposti tulevaisuuden tarpeiden mukaan.



## LÄHTEET

Labfacility. Kuva PT100-anturista. Viitattu 13.3.2013 <http://www.labfacility.co.uk/images/sensor-duplex-pt100-labfacility.jpg>

Rockwell Automation. Safety Relay vs. Safety PLC: Choosing the Right Safety Control Architecture. 2002. Viitattu 9.7.2012.

<http://www.emea.rockwellautomation.com/oem/de/safety/docs/Safety-Relay-vs-Safety-PLC-Choosing-the-Right-Safety-Control-Architecture.pdf>

Siemens. Kuva Siemens Logo! –keskusyksiköstä. Viitattu 30.11.2012 [swe.siemens.com](http://swe.siemens.com)

Siemens. Logo! -laitteen tiedot. Viitattu 30.11.2012

<http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/modular-basic-variants/Pages/Default.aspx>

Turun Teollisuustukku OY. Vierailu liikkeessä 28.11.2012. Viitattu 9.12.2012

## Siemens LOGO! – tuotesarjan tekniset tiedot

### LOGO! modular – the technical details

Basic units	LOGO! 12/24RC <sup>1)</sup> , LOGO! 12/24RCo <sup>2)</sup>	LOGO! 24C, LOGO! 24Co	LOGO! 24RC <sup>3)</sup> , LOGO! 24RCo <sup>3)</sup>
Inputs	8	8	8
of which can be used in analog mode	4 (0 to 10 V)	4 (0 to 10 V)	–
Input/supply voltage	12/24 V DC	24 V DC	24 V AC/DC
Permissible range with signal "0" with signal "1" Input current	10.8 V ... 28.8 V DC max. 5 V DC min. 8.5 V DC 1.5 mA (I3 ... I6), 0.1 mA (I1, I2, I7, I8)	20.4 V ... 28.8 V DC max. 5 V DC min. 12 V DC 2 mA (I3 ... I6), 0.1 mA (I1, I2, I7, I8)	20.4 ... 28.8 V DC 20.4 ... 26.4 V AC max. 5 V AC/DC min. 12 V AC/DC, 2.5 mA
Outputs	4 relays	4 transistors	4 relays
Continuous current	10 A with resistive load; 3 A with inductive load	0.3 A	10 A with resistive load; 3 A with inductive load
Short-circuit protection	External fuse required	Electronic (approx. 1 A)	External fuse required
Switching frequency	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	10 Hz	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load
Cycle time	< 0.1 ms/function	< 0.1 ms/function	< 0.1 ms/function
Integrated time switches/ power reserve	Yes / typ. 80 h (2 years with battery module)	Yes / typ. 80 h (2 years with battery module)	Yes / typ. 80 h (2 years with battery module)
Connection cables	2 x 1.5 mm <sup>2</sup> or 1 x 2.5 mm <sup>2</sup>		
Ambient temperature	0 to +55 °C		
Storage temperature	–40 °C to +70 °C		
Emitted interference	In accordance with EN 55011 (limit class B)		
Degree of protection	IP20		
Certification	In accordance with VDE 0631, IEC 1131, FM Class 1, Div 2, cULus, C-Tick, marine approvals		
Mounting	On 35 mm standard mounting rail, 4 MW, or wall-mounting		
Dimensions	72 (4 MW) x 90 x 55 mm (W x H x D)		
Programming cable	LOGO! PC cable, (RS232 or USB)	LOGO! PC cable, (RS232 or USB)	LOGO! PC cable, (RS232 or USB)
Optional backup battery	Yes	Yes	Yes
LOGO! <=> LOGO! communication (Ethernet)	No	No	No
LOGO! <=> network (Ethernet)	No	No	No
Maximum program memory	200 blocks	200 blocks	200 blocks
External memory module	LOGO! memory card	LOGO! memory card	LOGO! memory card
Data logging	No	No	No
Online status chart	No	No	No
Macro function	No	No	No

Digital modules	LOGO! DM8 12/24R	LOGO! DM8 24 DM16 24
Inputs	4	4/8
Input/supply voltage	12/24 V DC	24 V DC
Permitted range	10.8 ... 28.8 V DC	20.4 ... 28.8 V DC
with signal "0" with signal "1"	max. 5 V DC min. 5 V DC 8.	max. 5 V DC min. 12 V DC
Input current	1.5 mA	2 mA
Outputs	4 relays	4/8 transistors
Continuous current Ith (per terminal)	5 A with resistive load; 3 A with inductive load	0.3 A
Short-circuit protection	External fuse required	Electronic (approx. 1 A)
Switching frequency	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	10 Hz
Power loss	0.3 ... 1.7 W at 12 V DC 0.4 ... 1.8 W at 24 V DC	0.8 ... 1.1 W* 0.8 ... 1.7 W**
Dimensions (W x H x D)	36 (2 MW) x 90 x 53 mm	36 (2 MW) x 90 x 53 mm 72 (4 MW) x 90 x 53 mm

LOGO! 230RC <sup>1)</sup> , LOGO! 230RCo <sup>2)</sup>	LOGO! 12/24 RCE	LOGO! 230 RCE
8	8	8
–	4 (0 to 10 V)	–
115/240 V AC/DC	12/24 V DC	115/240 V AC/DC
85 ... 265 V AC 100 ... 253 V DC max. 40 V AC/30 V DC min. 79 V AC/79 V DC, 0.08 mA	10.8 V ... 28.8 V DC max. 5 V DC min. 8.5 V DC 1.5 mA (13 ... 16) 0.1 mA (11, 12, 17, 18)	85 ... 265 V AC 100 ... 253 V DC max. 40 V AC/30 V DC min. 79 V AC/79 V DC, 0.08 mA
4 relays	4 relays	4 relays
10 A with resistive load; 3 A with inductive load	10 A with resistive load; 3 A with inductive load	10 A with resistive load; 3 A with inductive load
External fuse required	External fuse required	External fuse required
2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load
< 0.1 ms/function	< 0.1 ms/function	< 0.1 ms/function
Yes / typ. 80 h (2 years with battery module)	Typically 20 days; no battery	Typically 20 days; no battery
On 35 mm standard mounting rail, 6 MW, or wall-mounting		
	108 (6 MW) x 90 x 55 mm (W x H x D)	108 (6 MW) x 90 x 55 mm (W x H x D)
LOGO! PC cable, (RS232 or USB)	Ethernet	Ethernet
Yes	No	No
No	Yes, max. 8 LOGO!s + 1 PC/PG	Yes, max. 8 LOGO!s + 1 PC/PG
No	Yes, max. 8 TN (LOGO!, SIMATIC CPU, 1x SIMATIC HMI, PC)	Yes, max. 8 TN (LOGO!, SIMATIC CPU, 1x SIMATIC HMI, PC)
200 blocks	400 blocks	400 blocks
LOGO! memory card	SIMATIC memory card or standard SD card max. 2 G	SIMATIC memory card or standard SD card max. 2 G
No	Internal memory/SD card	Internal memory/SD card
No	Yes, with saving on the PC	Yes, with saving on the PC
No	Yes	Yes
LOGO! DM8 24R DM16 24R	LOGO! DM8 230R DM16 230R	R: Relay outputs, C: Clocktime switch, o: without display.  E: Ethernet interface  * for DM8 module, ** for DM16 module  1) As SIPLUS component also for extended temperature range –25 ... +70 °C and corrosive atmosphere/ condensation (www.siemens.com/siplus)  2) As SIPLUS component also for extended temperature range –40 ... +70 °C and corrosive atmosphere/ condensation (www.siemens.com/siplus)
4/8	4/8	
24 V AC/DC* 24 V DC**	115/240 V AC/DC	
20.4 ... 28.8 V DC, 20.4 ... 26.4 V AC*	85 ... 265 V AC, 100 ... 253 V DC	
max. 5 V AC/DC min. 12 V AC/DC*	max. 40 V AC min. 79 V AC	
2.5 mA*, 2.0 mA**	0.08 mA	
4/8 relays	4/8 relays	
5 A with resistive load; 3 A with inductive load	5 A with resistive load; 3 A with inductive load	
External fuse required	External fuse required	
2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	2 Hz with resistive load; 0.5 Hz with inductive load	
0.4 ... 1.8 W at 24 VDC* 0.9 ... 2.7 W at 24 VAC* 0.7 ... 2.5 W at 24 VDC**	1.1 ... 3.5 W (115 V AC) ... 4.5** 2.4 ... 4.8 W (240 V AC) ... 5.5** 0.5 ... 1.8 W (115 V DC) ... 2.9** 1.2 ... 2.4 W (240 V DC) ... 4.8**	
36 (2 MW) x 90 x 53 mm 72 (4 MW) x 90 x 53 mm	36 (2 MW) x 90 x 53 mm 72 (4 MW) x 90 x 53 mm	

## LOGO! modular – the technical data

Analog modules	LOGO! AM2 <sup>2)</sup>	LOGO! AM2 RTD	LOGO! AM2 AQ <sup>2)</sup>
Supply voltage	12/24 V DC	12/24 V DC	24 V DC
Permitted range	10.8 ... 28.8 V DC	10.8 ... 28.8 V DC	20.4 ... 28.8 V DC
Analog inputs	2	2 x PT100 or PT1000 2-wire or 3-wire Automatic sensor detection	2
Measuring range		–50 °C ... +200 °C	0 ... 10 V
Input range	0 ... 10 V or 0/4 ... 20 mA	–	0 ... 10 V or 0/4 ... 20 mA
Resolution	10 bit standardized to 0–1000	0.25 °C	10 bit standardized to 0–1000
Cable length (shielded and twisted)	10 m	10 m	10 m
Encoder supply	none	1.1 mA	–
Power loss at 12 V DC at 24 V DC	0.3 ... 0.6 W 0.6 ... 1.2 W	0.3 ... 0.6 W 0.6 ... 1.2 W	– 0.6 ... 1.2 W
Dimensions (W x H x D)	36 (2 MW) x 90 x 53 mm	36 (2 MW) x 90 x 53 mm	36 (2 MW) x 90 x 53 mm

<sup>2)</sup> as SIFPLUS component also for extended temperature range  
–40 ... +70 °C and corrosive atmosphere/condensation ([www.siemens.com/sifplus](http://www.siemens.com/sifplus))

LOGO! TD Text Display	
Supply voltage	12 V DC, 24 V AC/DC
Permitted range	10.2 ... 28.8 V DC or 20.4 to 26.4 V AC (47 ... 63 Hz)
Input	6 standard keys, 4 function keys (tactile-touch keys)
Display	61 x 33 mm, white, controllable backlight, adjustable contrast
Lines/characters	4 lines, 12/16 characters per line (depends on character set)
Length of connecting cable	2.5 m (extendable to 10 m with "universal" 9-wire standard serial cable)
Power consumption at 24 V DC	typ. 65 mA (12 V DC), typ. 40 mA (24 V DC), typ. 90 mA (24 V AC)
Cutout dimensions (W x H x D)	119.5 x 78.5 x 1.5 – 4.0 mm for panel mounting (128.3 x 86 x 38.7 mm total)

Communication modules (CM)	EIB/KNX	CM AS-Interface (slave)
Supply voltage	12/24 V DC	24 V DC
Permitted range	20.4 ... 28.8 V DC 20.4 ... 26.4 V AC	19.2 ... 28.8 V DC
Digital inputs*	16 (can also be configured as Monoflop)	4
Analog inputs*	8	–
Analog outputs*	2 (max. 8)	–
Digital outputs*	12	4
Dimensions (W x H x D)	2 MW 36 x 90 x 53 mm	2 MW 36 x 90 x 53 mm

\* Mapping to LOGO! inputs/outputs